

การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนที่เกิดจากกระบวนการมิเนอรัลไลเซชัน
และอินทรีย์วัตถุที่ปรับปรุงดินด้วยปอเทือง
Mineralized Nitrogen and Organic Matter Changer in Soil Amended
with *Crotalaria juncea* L. Residues

สุทธิเตชา ขุนทอง* ชัยสิทธิ์ วัฒนาวังจสุข และสุรเชษฐ์ นาราภักดิ์

Sutdacha Khunthong*, Chaiyasit Wattanawangjongsuk and Surachet Narabhat

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ 10900

Office of Science for Land Development, Land Development Department, Bangkok, Thailand 10900

*Corresponding author: sutdacha@hotmail.com

Received: November 2, 2018

Revised: January 30, 2019

Accepted: February 8, 2019

Abstract

This research aims to study the nitrogen mineralization from different parts of *Crotalaria juncea* L. on changed soil organic matter and mineral nitrogen in different duration. The study was Complete Randomized Design (CRD) with four replicates. Incubation experiment included six treatments as follow; (T1) control and 5 residues i.e. the roots (T2), stems (T3), leaves (T4), flowers (T5) and below and above-ground biomass, roots + stems + leaves + flowers (T6) of *Crotalaria juncea* L. A 100 g soil sample was placed in the container with 1.6 g of plant residues (5,000 g plant residue per rai). A laboratory incubation experiment was conducted for 10, 20, 40, 60, 80, 100 and 120 days under controlled conditions (25°C and 50 percent moisture of soil weight). The results showed that at 60 days, flowers, leaves and roots + stems + leaves + flowers of *Crotalaria juncea* L. displayed continuous mineralization by releasing a maximum of 167.13, 79.13 and 66.89 mg kg⁻¹, respectively. At 80 days, maximum nitrogen mineralization of roots 44.12 mg kg⁻¹ and stems 42.00 mg kg⁻¹ were not statistically significant. Based on nitrogen mineralization of *Crotalaria juncea* L. at 60 days, release nitrogen content of plant residues equals to urea fertilizer around 45.37 kg. Using *Crotalaria juncea* L. as green manure crop can increase the maximum organic matter content about 1,382.37 kg per rai. However, total carbon and organic matter always changed, in contrast to nitrogen mineralization.

Keywords: nitrogen, mineralization, *Crotalaria juncea* L., Lampang soil series

บทคัดย่อ

ศึกษากระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชันจากชิ้นส่วนปอเทืองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์วัตถุ และอนินทรีย์ไนโตรเจนในดินแต่ละช่วงเวลา วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 4 ซ้ำ มี 6 สิ่งทดลอง ได้แก่ การบ่มดินดำรับควบคุม (T1) การใช้ส่วนราก (T2), ลำต้น (T3), ใบ (T4), ดอก (T5) และส่วนราก+ลำต้น+ใบ+ดอก (T6) ของปอเทืองสด จำนวน 1.6 กรัม บ่มในภาชนะที่บรรจุดิน 100 กรัม (อัตรา 5,000 กก./ไร่) ที่ระยะเวลาการบ่ม 10, 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 วัน ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการอุณหภูมิเฉลี่ย 25°C และรักษาความชื้นของดินที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่าส่วนของดอกมีกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชันสูงที่สุด รองลงมา คือ ส่วนของใบ และส่วนราก+ลำต้น+ใบ+ดอก พบปริมาณสูงสุดที่ระยะเวลา 60 วัน มีกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชัน 167.13, 79.13 และ 66.89 มก./กก. ตามลำดับ ถัดมา คือ ส่วนของราก และลำต้น พบปริมาณสูงสุดที่ระยะเวลา 80 วัน แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกัน มีกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชัน 44.12 และ 42.00 มก./กก. ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในภาพรวมกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชันจากต้นปอเทืองในพื้นที่ 1 ไร่ ที่ระยะเวลา 60 วัน เทียบเท่าการใช้ปุ๋ยยูเรีย 45.37 กก. การใช้ปอเทืองสามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุได้สูงสุด 1,382.37 กก./ไร่ อย่างไรก็ตามปริมาณคาร์บอนและปริมาณอินทรีย์วัตถุมีความผันแปรตามระยะเวลา ผกผันกับกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชัน

คำสำคัญ: ไนโตรเจน มิเนอรัลไลเซชัน ปอเทือง
ชุดดินลำปาง

คำนำ

การใช้ปอเทือง (*Crotalaria juncea* L.) เป็นปุ๋ยพืชสดเป็นวิธีการหนึ่งที่กรมพัฒนาที่ดินส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก เพื่อเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุและไนโตรเจนในดิน ภายใต้แนวคิดการใช้ประโยชน์ และการอนุรักษ์เสริมสร้างฟื้นฟูทรัพยากรดินอย่างยั่งยืน โดยใช้วิธีไถกลบต้นปอเทืองในระยะออกดอก เมื่อต้นปอเทืองสลายนัตจะปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาในรูปของอนินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรท (NO_3^-) ผ่านกระบวนการมิเนอรัลไลเซชัน (Mineralization) ซึ่งเป็นรูปที่พืชดูดไปใช้ได้ การศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนของปุ๋ยพืชสดส่วนใหญ่จะวิเคราะห์หาไนโตรเจนในรูปไนโตรเจนทั้งหมด แต่ปริมาณไนโตรเจนส่วนใหญ่ที่หาได้อยู่ในรูปของอินทรีย์ไนโตรเจน แต่มีไนโตรเจนเพียง 10 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น อยู่ในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที (Abbasi *et al.*, 2015) การศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปแบบของอัตรามิเนอรัลไลเซชัน จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะให้ข้อมูลเชิงลึกของอัตราปลดปล่อยอินทรีย์ไนโตรเจน สำหรับนำข้อมูลไปจัดการไนโตรเจนในดินแบบแม่นยำ อย่างไรก็ตามไนโตรเจนในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนจะค่อยๆ ปลดปล่อยออกมาจากวัสดุอินทรีย์อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาที่อยู่ในดิน องค์ประกอบจากส่วนต่างๆ ของพืช องค์ประกอบทางชีวเคมี อุณหภูมิดิน ปริมาณออกซิเจน ตลอดจนสมบัติดินและชนิดของเศษวัสดุพืช (Vahdat *et al.*, 2011; Abera *et al.*, 2012) โดยเฉพาะระยะเวลาเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชันของวัสดุอินทรีย์แต่ละชนิด เนื่องจากความแตกต่างขององค์ประกอบทางชีวเคมีของวัสดุอินทรีย์ เช่น ลิกนิน และ C/N มีความสัมพันธ์เชิงลบกับกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชัน หรือสภาพแวดล้อมมักส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายและปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาแตกต่างกัน (Abbasi *et al.*, 2015)

Masunga *et al.*, (2016) ศึกษากระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชันของวัสดุอินทรีย์ 4 ชนิด ได้แก่ มูลโคนม ต้นโคลเวอร์ ปุ๋ยหมักจากเศษอาหาร และปุ๋ยหมักจากใบต้นพอลาร์ นำวัสดุแต่ละชนิดมาบ่มกับดินในอัตราไนโตรเจน 126 กก./เฮกตาร์ ใช้ระยะเวลาในการศึกษา 97 วัน พบว่าวัสดุอินทรีย์ทุกชนิด มีแนวโน้มเกิดกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชันเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น และมีกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชันสูงสุดที่ระยะเวลา 97 วัน ยกเว้นปุ๋ยหมักจากเศษอาหาร มีกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชันสูงสุดที่ระยะเวลา 68 วัน แต่กลับลดลงที่ระยะเวลา 97 วัน Delve *et al.* (2001) ศึกษากระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชันของวัสดุอินทรีย์ 3 ชนิด ได้แก่ ใบของต้นพุ่มพุ่มมูลไก่ และฟางข้าว นำวัสดุแต่ละชนิดมาบ่มกับดินในอัตรา 9.6 กก./กก. ใช้ระยะเวลาในการศึกษา 28 สัปดาห์ พบว่าใบต้นพุ่มพุ่มมีกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชันเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ในทางกลับกันในช่วงระยะเวลา 28 สัปดาห์ มูลไก่และฟางข้าวไม่ได้เกิดกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชัน แต่เกิดกระบวนการอิมโมบิไลเซชัน (Immobilization) แทน อย่างไรก็ตามในกรณีของมูลไก่เริ่มเกิดกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชันหลังจาก 24 สัปดาห์ นอกจากนี้ Abbasi *et al.* (2015) พบว่าเศษซากชิ้นส่วนใบ ลำต้น และกิ่งก้านของวัสดุพืชมีองค์ประกอบทางชีวเคมีต่างกัน ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน ลิกนิน และโพลีฟีนอล ส่งผลให้การปลดปล่อยไนโตรเจนจากกระบวนการมิเนอรัลไลเซชันในช่วงระยะเวลาต่างๆ แตกต่างกัน

จากข้อมูลทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชันจากวัสดุพืชแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลามีความแตกต่างกัน สำหรับกรณีของต้นปอเทือง ซึ่งเป็นพืชที่กรมพัฒนาที่ดินส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกเพื่อเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุและไนโตรเจนในดิน ปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลรายงานการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนที่เกิดจากกระบวนการมิเนอรัลไลเซชันในแต่ละช่วงเวลาหลังการ ไถกลบ

การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชันจากชิ้นส่วนปอเทือง ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์วัตถุ และอินทรีย์ไนโตรเจนในแต่ละช่วงเวลา

อุปกรณ์และวิธีการ

ตัวอย่างดินและพืชที่ใช้ในการศึกษา

เก็บตัวอย่างดินตัวแทน ชุดดินลำปาง (Lampang series: Lp) พิกัด Q47 540531E, 2014626N ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt loam) มีอนุภาคขนาดทราย (Sand) ทรายแป้ง (Silt) และอนุภาคดินเหนียว (Clay) 490, 340 และ 170 ก./กก. ตามลำดับ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 4.5 มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) และอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) 3.71 และ 6.40 ก./กก. ตามลำดับ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.37 ก./กก. ค่า C/N เท่ากับ 10 มีปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจน (Mineral nitrogen) ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) และอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic nitrogen) 71.44 และ 298.56 มก./กก. ตามลำดับ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) 3 มก./กก. โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (Extractable potassium, calcium and magnesium) 40, 273 และ 37 มก./กก. ตามลำดับ

สำหรับต้นปอเทืองที่ใช้ศึกษามีอายุ 45 วัน แยกต้นปอเทืองออกเป็นส่วนต่างๆ ได้แก่ ส่วนราก ใบ ลำต้น และดอก แบ่งแต่ละส่วนออกเป็น 2 กลุ่ม 1) แยกบดแต่ละส่วนของต้นปอเทืองสด ร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 1 มม. สำหรับใช้บ่มกับตัวอย่างดิน 2) นำไปอบที่อุณหภูมิ 65°C. เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 1 มม. เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมี ได้แก่ ลิกนิน (Van Soest *et al.*, 1991) โพลีฟีนอล (Folin and Denis, 1915) คาร์บอน และไนโตรเจนทั้งหมด (ISO 10694, 1995; ISO 13878, 1998)

วิธีดำเนินการ

ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการกลุ่มวิเคราะห์ วิจัยพืช ปุ๋ย และสิ่งปรับปรุงดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 4 ซ้ำ มี 6 สิ่งทดลอง ได้แก่ การบ่มดินดำรับควบคุม (T1) การใช้ส่วนราก (T2) ลำต้น (T3) ใบ (T4) ดอก (T5) และส่วนราก+ลำต้น+ใบ+ดอก ในสัดส่วนที่เท่ากัน (T6) ของปอเทืองสด บ่มในดินที่ผ่านตะแกรงร่อน ขนาดช่องเปิด 2 มม. ในสัดส่วน 1.6 กรัม ต่อดิน 100 กรัม (อัตรา 5,000 กก./ไร่) ในสภาวะอุณหภูมิห้องเฉลี่ย 25°C. ดินมีความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามระดับความชื้นแนะนำของกองปุ๋ยหมัก (Land Development Department, 2010) ทำการบ่มที่ระยะเวลา 10, 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 วัน เมื่อครบกำหนดในแต่ละช่วงเวลา นำตัวอย่างดินหาปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) (Bremner and Keeney, 1966) และคำนวณหาไนโตรเจนที่เกิดจากกระบวนการมิเนอรัไลเซชัน (Nitrogen mineralization: N_m) (Mohanty *et al.*, 2011) (สมการที่ 1)

$$N_m (\text{มก./กก.}) = (\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- \text{ จากสิ่งทดลองที่ศึกษา}) - (\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- \text{ จากสิ่งทดลอง.....(1) = ควบคุม})$$

หาปริมาณคาร์บอนทั้งหมดโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบหลัก จากการเผาแห้ง (Dry combustion) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ไนโตรเจน คาร์บอน และกำมะถันอัตโนมัติ (NCS Analyzer รุ่น Flash 2000) และเนื่องจากดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง น้อยกว่า 6.5 คาร์บอนทั้งหมดแสดงถึงปริมาณอินทรีย์คาร์บอน จึง

สามารถนำผลวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนที่ได้มาหาปริมาณอินทรีย์วัตถุ จากการอาศัยหลักการที่อินทรีย์วัตถุมีอินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 58 เปอร์เซ็นต์ (ISO 10694, 1995) นำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA; Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD)

ผลการวิจัยและวิจารณ์

องค์ประกอบทางชีวเคมีจากชิ้นส่วนต้นปอเทือง

จากการวิเคราะห์สมบัติทางชีวเคมีจากชิ้นส่วนต้นปอเทืองพบว่า แต่ละส่วนมีองค์ประกอบทางชีวเคมีแตกต่างกัน (Table 1) ส่วนของดอกมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด 61.61 ก./กก. เนื่องจากในระยะออกดอกธาตุอาหารจะถูกลำเลียงไปยังส่วนของดอกสำหรับเตรียมความพร้อมในการสร้างเมล็ด ส่วนใบ ราก+ลำต้น+ใบ+ ดอก ราก และส่วนของต้น มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 28.66, 22.54, 9.93 และ 9.17 ก./กก. ตามลำดับ ชี้ให้เห็นว่าแหล่งของไนโตรเจนหลังการไถกลบต้นปอเทือง ส่วนใหญ่มาจากส่วนของดอกและใบ ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดพบค่าสูงที่สุดในส่วนของราก 982 ก./กก. เนื่องจากเป็นส่วนที่ช่วยยึดค้ำจุนลำต้นไม่ให้ล้ม จึงเป็นส่วนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของโครงสร้างสูงกว่าส่วนอื่น และค่าที่พบสูงกว่าในราก โสนอัฟริกัน ซึ่งมีรายงานปริมาณคาร์บอน เท่ากับ 384.76 ก./กก. (Tulaphitak *et al.*, 2015)

Table 1 Biochemical composition of different parts of *Crotalaria juncea* L.

Parts of <i>Crotalaria juncea</i> L.	N (g kg ⁻¹)	C (g kg ⁻¹)	LG (g kg ⁻¹)	PP (mg kg ⁻¹)	C/N	LG/N
Roots	9.93d	982.60a	242.25a	24.26e	99a	24a
Stems	9.17e	514.02b	173.75b	33.87d	56b	19b
Leaves	28.66b	453.39d	73.50d	83.15a	16d	3d
Flowers	61.61a	472.28c	65.25e	50.22c	8e	1e
Roots + stems + leaves + flowers	22.54c	427.10e	103.00c	55.15b	19c	5c
F-test	*	*	*	*	*	*
C.V. (%)	1.40	0.20	3.15	4.06	0.31	3.69

N = total nitrogen, C = total carbon, LG = lignin, PP = polyphenol

* Means with different letters in the same column indicate significant difference at P<0.05, HSD.

ส่วนลำต้น ดอก ใบ และส่วน ราก+ลำต้น+ใบ+ดอก มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมด 514.02, 472.28, 453.39 และ 427.10 ก./กก. ตามลำดับ ปริมาณลิกนินพบค่าสูงสุดในส่วนของราก 242 ก./กก. เช่นเดียวกับปริมาณคาร์บอน เนื่องจากเป็นส่วนที่ช่วยยึดลำต้นไม่ให้ล้ม จึงมีลิกนินและคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของโครงสร้างสูงกว่าส่วนอื่น ปริมาณลิกนินที่พบสูงกว่าในรากโสนอัฟริกัน ซึ่งมีรายงานปริมาณลิกนิน 80.60 ก./กก. (Tulaphitak *et al.*, 2015) ชี้ให้เห็นว่ารากปอเพียงอาจต้องใช้ระยะเวลาย่อยสลายมากกว่ารากโสนอัฟริกัน อย่างไรก็ตามมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณลิกนินในพืชตระกูลถั่วและพืชตระกูลถั่วมีรายงานปริมาณลิกนินอยู่ในช่วง 171-252 ก./กก. (Vahdat *et al.*, 2011) ส่วนปริมาณลิกนินในลำต้น ราก+ลำต้น+ใบ+ดอก ใบ และดอก มีปริมาณ 173.75, 103.00, 73.50 และ 62.25 ก./กก. ตามลำดับ ปริมาณโพลีฟีนอล พบค่าสูงสุดในส่วนของใบ 83.15 มก./กก. อาจเนื่องจากสารโพลีฟีนอลถูกสร้างขึ้นมาเพื่อดำรงอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสงที่เกิดขึ้นบริเวณใบพืช ค่าที่พบน้อยกว่าปริมาณโพลีฟีนอลที่มีรายงานในถั่วแระ

(Mafongoya *et al.*, 1998) และแคฝรั่ง (Abbasi *et al.*, 2015) ส่วนราก+ลำต้น+ใบ+ดอก ดอก ลำต้น และราก มีปริมาณโพลีฟีนอล 55.15, 50.22, 33.87 และ 24.26 มก./กก. ตามลำดับ ค่า C/N พบค่าสูงสุดในส่วนของราก เท่ากับ 99 สูงกว่าในรากโสนอัฟริกัน ซึ่งมีค่า C/N เท่ากับ 23 (Tulaphitak *et al.*, 2015) แต่น้อยกว่าในรากข้าวโพด มีรายงานค่า C/N เท่ากับ 121 (Abbasi *et al.*, 2015) ชี้ให้เห็นว่ารากปอเพียงอาจใช้ระยะเวลาย่อยสลายเร็วกว่ารากข้าวโพด ส่วนลำต้น ราก+ลำต้น+ใบ+ดอก ใบ และดอก มี C/N เท่ากับ 56, 19, 16 และ 8 ตามลำดับ ส่วนค่า LG/N พบอัตราส่วนสูงสุดในส่วนของราก เท่ากับ 24 ใกล้เคียงกับค่า LG/N ของข้าวบาร์เลย์ มีรายงานค่า LG/N เท่ากับ 21 (Vahdat *et al.*, 2011) ส่วนลำต้น ราก+ลำต้น+ใบ+ดอก ใบ และดอก มีอัตราส่วนเท่ากับ 19, 5, 3 และ 1 ตามลำดับ จากผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีของชิ้นส่วนปอเพียง ชี้ให้เห็นว่าส่วนของรากและลำต้นเป็นชิ้นส่วนสำคัญที่ควบคุมกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัไลเซชันเนื่องจากมีระดับ C/N และ LG/N สูงกว่าชิ้นส่วนอื่น ซึ่งระดับ C/N และ LG/N มีความสัมพันธ์เชิงลบกับกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัไลเซชัน (Abbasi *et al.*, 2015)

การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์ไนโตรเจนในดินจากการใช้ ชิ้นส่วนของต้นปอเทืองบ่มในดินเป็นระยะเวลา 120 วัน

หลังการใช้ชิ้นส่วนปอเทืองบ่มในดินปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินมีการเปลี่ยนแปลงผันแปรตามระยะเวลาการบ่ม ที่ระยะเวลา 10 วัน ดินที่บ่มชิ้นส่วนปอเทืองทุกสิ่งทดลอง เมื่อเปรียบเทียบกับดินดำรับควบคุม มีปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมและไนเตรทเพิ่มขึ้น (Figure 1) จากการเปลี่ยนรูปของอินทรีย์ไนโตรเจนมาอยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน เพื่อใช้อินทรีย์สารเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานผ่านกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัไลเซชัน โดยเฉพาะส่วนของ ราก+ลำต้น+ใบ+ดอก มีกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัไลเซชันสูงที่สุด (Figure 2) แต่หลังจากระยะเวลา 10 วัน ทุกชิ้นส่วนของปอเทืองเมื่อเปรียบเทียบกับดินดำรับควบคุม ยกเว้นส่วนของดอก มีปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนลดลง ทั้งนี้เนื่องจากภายในดินอาจมีปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก จึงจำเป็นต้องใช้ปริมาณคาร์บอนเพื่อเป็นองค์ประกอบ

ของเซลล์ และเป็นแหล่งพลังงานเพิ่มตามปริมาณจุลินทรีย์ดิน แต่การนำปริมาณคาร์บอนมาใช้ในกระบวนการจำเป็นต้องใช้ไนโตรเจน โดยทั่วไปเซลล์ของจุลินทรีย์มีสัดส่วน C/N อยู่ในช่วง 4/1 ถึง 9/1 เฉลี่ยเซลล์ของจุลินทรีย์จึงมีค่า C/N ประมาณ 7/1 หมายความว่าประกอบด้วยปริมาณของคาร์บอน 7 ส่วนต่อไนโตรเจน 1 ส่วน เนื่องจากเซลล์จุลินทรีย์ใช้สารประกอบคาร์บอนที่ได้จากการย่อยสลายในการสร้างเป็นองค์ประกอบของเซลล์เพียง 1/3 ของทั้งหมด ปริมาณคาร์บอนอีก 2/3 จะถูกย่อยสลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในกระบวนการหายใจ ดังนั้นอาหารที่จุลินทรีย์ใช้จึงควรมี C/N สูงสุดไม่เกิน 21/1 แต่หากมีค่าสูงกว่านี้ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากในดินมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น หรือมีปริมาณไนโตรเจนลดลง จุลินทรีย์ดินจะดึงเอาอินทรีย์ไนโตรเจนในรูปไนเตรทและแอมโมเนียมมาใช้เป็นองค์ประกอบของเซลล์ และเปลี่ยนมาอยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนผ่านกระบวนการอิมโมบิไลเซชัน (Brady, 1984) ส่งผลให้ในช่วงเวลาดังกล่าวดินมีปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนลดลง

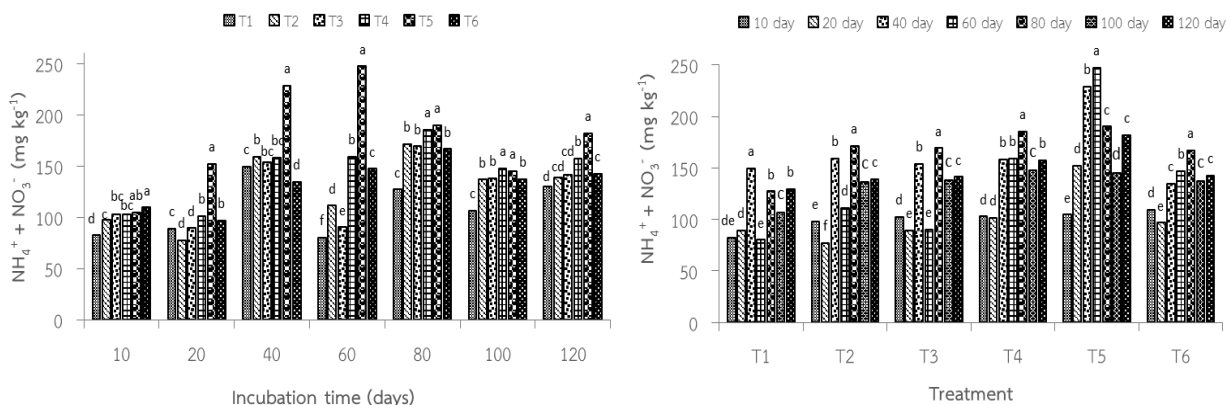


Figure 1 The mineral nitrogen contents from different parts of *Crotalaria juncea* L. during 120 day, T1 = control, T2 = soil + roots, T3 = soil + stems, T4 = soil + leaves, T5 = soil + flowers, T6 = soil + roots + stems + leaves + flowers, different letters indicate significant difference at $P < 0.05$, HSD.

อย่างไรก็ตามในช่วง 10-20 วันแรก ดินที่บ่มด้วยดอกปอเทืองยังคงเกิดกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัไลเซชันต่อเนื่อง เนื่องจากส่วนของดอกมีปริมาณไนโตรเจนสูง แต่มีปริมาณคาร์บอนต่ำเมื่อเทียบกับชิ้นส่วนอื่น (Table 1) จึงยังคงสัดส่วน C/N อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อความต้องการของจุลินทรีย์ แต่หลังจากระยะเวลา 40 วัน ทุกชิ้นส่วนเมื่อเปรียบเทียบกับดินดำรับควบคุมมีปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ระยะเวลา 60 วัน ส่วนของดอก ใบ และส่วน ราก+ลำต้น+ใบ+ดอก มีกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัไลเซชันสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวล่อื่น ส่วนของรากและลำต้นมีกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัไลเซชันสูงสุดที่ระยะเวลา 80 วัน หลังจากนั้นทุกชิ้นส่วนปอเทืองมีกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัไลเซชันลดลง ตามลำดับ (Figure 2) จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าชิ้นส่วนพืชที่ต่างกันมีผลต่อปริมาณ และระยะเวลาการเกิดกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัไลเซชัน สอดคล้องกับการศึกษาอัตรา

ไนโตรเจนมิเนอรัไลเซชันจากการบ่มใบของต้นสมิ และ กระถินในดินอัตรา 10 ต้น/เฮกตาร์ ใช้ระยะเวลาในการศึกษา 8 สัปดาห์ พบว่าใบของต้นสมิ เกิดกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัไลเซชันสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 8 และยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่ใบกระถินเกิดกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัไลเซชันสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 6 หลังจากนั้นกลับมีแนวโน้มลดลง (Mafongoya *et al.*, 1998) และจากการศึกษาอัตราไนโตรเจนมิเนอรัไลเซชันของวัสดุพืช 3 ชนิด ได้แก่ หมามุ่ย ถั่วแปบ และปอเทือง นำวัสดุพืชแต่ละชนิดมาบ่มกับดิน ในอัตรา 10 ก./กก. ใช้ระยะเวลาในการศึกษา 16 สัปดาห์ พบว่าวัสดุพืชทั้ง 3 ชนิด มีอัตราไนโตรเจนมิเนอรัไลเซชันเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา โดยในสัปดาห์ที่ 16 ปอเทือง ถั่วแปบ และหมามุ่ย มีกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัไลเซชัน เท่ากับ 170, 130 และ 121 มก./กก. ตามลำดับ (Odhiambo, 2010)

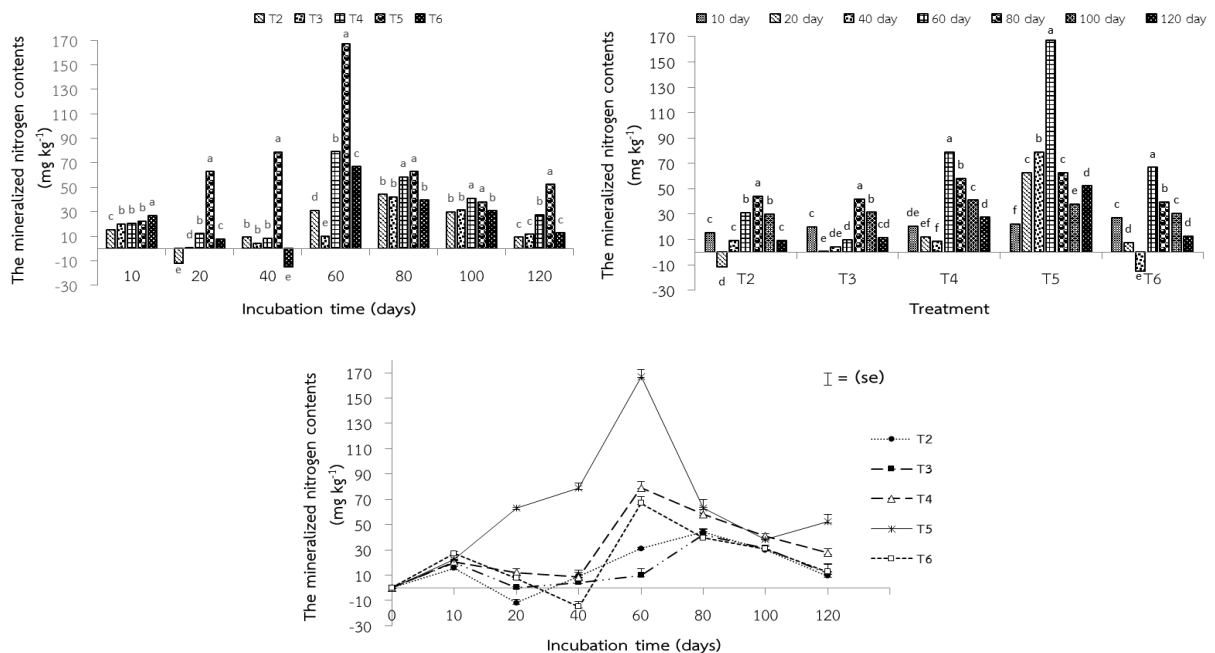


Figure 2 The mineralized nitrogen contents from different parts of *Crotalaria juncea* L. during 120 day, T2 = soil + roots, T3 = soil + stems, T4 = soil + leaves, T5 = soil + flowers, T6 = soil + roots + stems + leaves + flowers, se = standard errors
Different letters indicate significant difference at P<0.05, HSD.

เมื่อพิจารณาในแต่ละชั้นส่วนของปอเทือง (Figure 2) ยังแสดงให้เห็นว่าการใช้ปอเทืองปรับปรุงดิน หากได้น้ำหนักสดของปอเทือง 5,000 กก./ไร่ ในสภาวะที่ดินมีความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 25°C. ส่วนของดอกมีกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชันสูงที่สุด รองลงมา คือ ส่วนของใบ และส่วนราก+ลำต้น+ใบ+ดอก พบปริมาณสูงสุดที่ระยะเวลา 60 วัน มีกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชัน 167.13, 79.13 และ 66.89 กก./กก. ตามลำดับ ถัดมา คือ ส่วนของรากและลำต้น พบปริมาณสูงสุดที่ระยะเวลา 80 วัน มีกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชัน 44.12 และ 42.00 กก./กก. ตามลำดับ หรือหากมองในภาพรวมพิจารณาจากส่วน ราก+ลำต้น+ใบ+ดอก ซึ่งเป็นตัวแทนของชั้นส่วนปอเทืองทั้งหมด แสดงให้เห็นว่ากระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชันจากปอเทืองเกิดขึ้นสูงที่สุด 66.89 กก./กก. ที่ระยะเวลา 60 วัน หากดิน 1 ไร่ ที่ระดับความลึก 15 ซม. มีน้ำหนัก 312,000 กก. การใช้ปอเทืองเป็นปุ๋ยพืชสด หลังการไถกลบที่ระยะเวลา 60 วัน ในพื้นที่ 1 ไร่ สามารถปลดปล่อยอนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม และไนเตรท จากกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชัน 20.87 กก. หรือเทียบเท่าการใช้ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 45.37 กก./ไร่ ปัจจุบันพื้นที่ประเทศไทยมีพื้นที่ดินทราย 11.6 ล้านไร่ (Land Development Department, 2015) ซึ่งเป็นดินที่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำ หากปุ๋ยยูเรียมีราคา 12 บาท/กก. และมีการใช้ปอเทืองปรับปรุงดินในพื้นที่ดินทรายทั้งหมด ปีละครั้ง จะได้ปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจนเทียบเท่าการใช้ปุ๋ยยูเรียคิดเป็นมูลค่า 6.3 พันล้านบาทต่อปี อย่างไรก็ตาม ข้อมูลข้างต้นมาจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ดังนั้น อาจมีความคลาดเคลื่อนกับการทดสอบในสภาพพื้นที่จริง ซึ่งมีความแปรปรวนของสภาวะแวดล้อมของแต่ละพื้นที่ มาเกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในภาคสนามตามสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น การทดสอบตามลักษณะกลุ่มเนื้อดิน หรือกลุ่มชุดดิน ซึ่งจะช่วยให้การประเมินศักยภาพของการใช้ปอเทืองปรับปรุงดินในแต่ละบริเวณมีความถูกต้อง แม่นยำมากยิ่งขึ้น

การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนและอินทรีย์วัตถุในดินจากการใช้ชั้นส่วนของต้นปอเทืองบ่มในดินเป็นระยะเวลา 120 วัน

ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ หลังการใช้ชั้นส่วนปอเทืองบ่มในดิน ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดิน (Figure 3a) และปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Figure 3b) เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนทดลอง แต่มีความผันแปรในช่วงระยะเวลาเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน และองค์ประกอบทางชีวเคมีของชั้นส่วนปอเทืองแตกต่างกัน ในช่วงระยะเวลา 20 วัน ดินที่บ่มแต่ละชั้นส่วนของปอเทืองมีแนวโน้มสะสมปริมาณคาร์บอนสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาอื่น ยกเว้นการบ่มส่วนของรากสะสมปริมาณคาร์บอนสูงสุดที่ระยะเวลา 80 วัน อาจเนื่องจากส่วนของรากมีปริมาณคาร์บอนและลิกนินสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นส่วนอื่น (Table 1) ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับกระบวนการย่อยสลาย (Aumtong and Pongwongkam, 2017) ส่วนในช่วงระยะเวลา 20 วัน สาเหตุที่ดินจากการบ่มทุกชั้นส่วนของปอเทืองยกเว้นราก มีแนวโน้มสะสมปริมาณคาร์บอนสูงที่สุด อาจเนื่องจากองค์ประกอบทางชีวเคมีอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกว่าส่วนของราก ทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายได้ดีกว่า ประกอบกับปริมาณจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการย่อยสลาย ส่งผลให้มีความต้องการใช้คาร์บอนมากขึ้น จึงเป็นปัจจัยเร่งกระบวนการย่อยสลายสอดคล้องกับกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชันที่ลดลงในช่วงระยะเวลาดังกล่าว (Figure 2) เนื่องจากอนินทรีย์ไนโตรเจนถูกใช้ป้อนองค์ประกอบของเซลล์จุลินทรีย์ควบคู่กับปริมาณคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น (Brady, 1984) สอดคล้องกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในดินหลังการใช้ส่วนราก ใบ และลำต้น ของข้าวฟ่าง ข้าว ถั่วเหลือง และข้าวสาลี บ่มในดินเป็นระยะเวลา 120 วัน พบว่าการเปลี่ยนปริมาณคาร์บอนในดินจากการบ่มวัสดุพืชทุกชนิด มีความผกผันกับกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชัน (Abiven *et al.*, 2005)

อย่างไรก็ตามจากการทดลองหลังระยะเวลา 20 วัน ดินที่บ่มแต่ละชั้นส่วนของปอเทืองมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดลดลง และมีความผันแปรต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการทดลอง ทั้งนี้การที่ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดลดลงอาจเนื่องมาจากโดยทั่วไปจุลินทรีย์ใช้สารประกอบคาร์บอนที่ได้จากการย่อยสลายในการสร้างเป็นองค์ประกอบของเซลล์เพียง 1/3 ของทั้งหมด ปริมาณคาร์บอนอีก 2/3 จะถูกย่อยสลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการหายใจ จึงอาจสูญเสียปริมาณคาร์บอนบางส่วนจากกิจกรรมดังกล่าว แต่ตามทฤษฎีปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียไปน่าจะมีเพียงส่วนน้อย สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในแต่ละช่วงเวลา โดยส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากดินที่ใช้ทดลองเป็นดินกรด เมื่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยา

กับไฮโดรเจนไอออน (H^+) จะแตกตัวให้คาร์บอน และน้ำอีกครั้งหนึ่ง เมื่อเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวประกอบกับปริมาณคาร์บอนที่ได้จากการย่อยสลายแต่ละชั้นส่วนของปอเทืองทำให้บางช่วงเวลามีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น หลังจากมีปริมาณคาร์บอนลดลงในช่วงก่อนหน้า ส่งผลให้เกิดการผันแปรของปริมาณคาร์บอนในแต่ละช่วงเวลา สอดคล้องกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในดินจากการใช้ต้นโคลเวอร์บ่มกับดินในอัตราไนโตรเจน 126 กก./เฮกตาร์ ใช้ระยะเวลาในการศึกษา 97 วัน พบว่าปริมาณคาร์บอนในดินมีความผันแปรตามระยะเวลาที่ระยะเวลา 20 วัน ดินมีปริมาณคาร์บอนสูงสุด หลังจากนั้นปริมาณคาร์บอนในดินลดลง และมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นอีกครั้งหลังจากระยะเวลา 68 วัน (Masunga *et al.*, 2016)

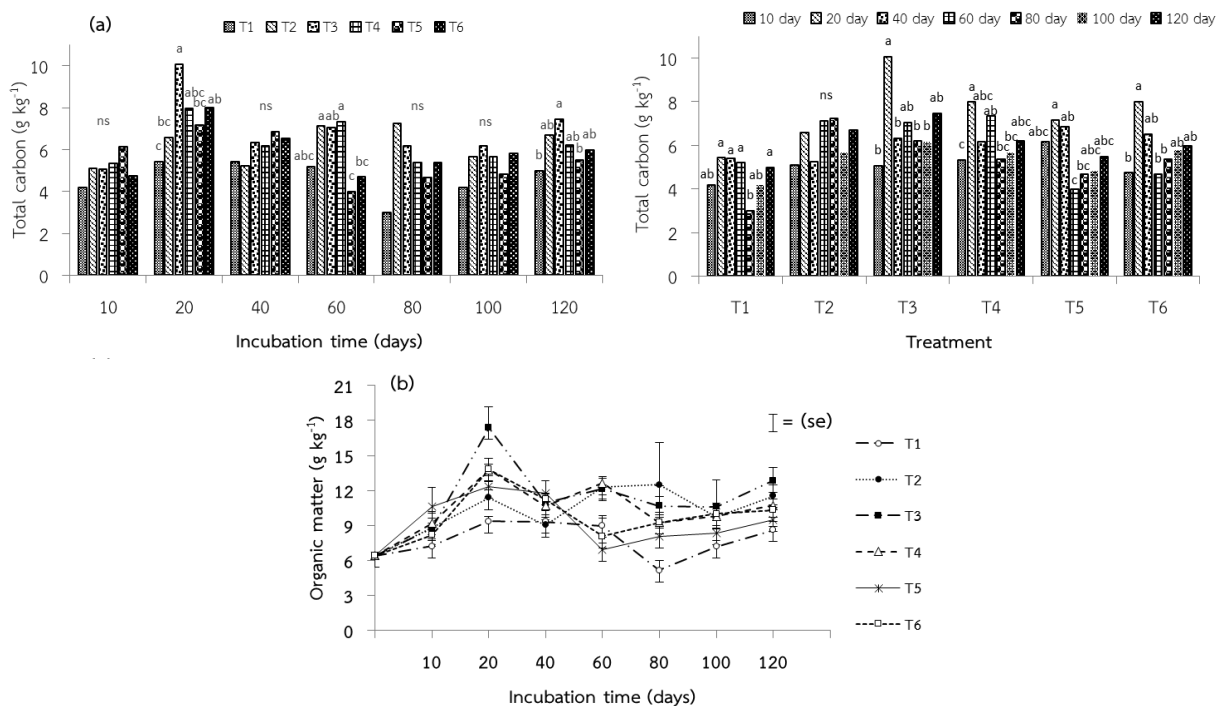


Figure 3 The total carbon (a) and organic matter (b) contents from different parts of *Crotalaria juncea* L. during 120 day, T1 = control, T2 = soil + roots, T3 = soil + stems, T4 = soil + leaves, T5 = soil + flowers, T6 = soil + roots + stems + leaves + flowers, se = standard errors. Different letters indicate significant difference and ns = not significant difference at $P > 0.05$, HSD.

จากผลการศึกษา (Figure 3a-3b) เมื่อพิจารณาในแต่ละชั้นส่วนของปอเทือง ในช่วงระยะเวลา 20 วัน ซึ่งเป็นช่วงที่มีแนวโน้มของการสะสมปริมาณคาร์บอนสูงสุด แสดงให้เห็นว่าการใช้ปอเทืองปรับปรุงดินหากได้น้ำหนักสดของปอเทือง 5,000 กก./ไร่ ในสภาวะที่ดินมีความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 25°C. ส่วนของลำต้นช่วยให้ดินมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดสูงที่สุด 10.07 ก./กก. หรือคิดเป็นปริมาณอินทรีย์วัตถุ 17.36 ก./กก. แต่ไม่มีความแตกต่างจากส่วนราก+ลำต้น+ใบ+ดอก และส่วนของใบ ช่วยให้ดินมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมด 8.00 และ 7.98 ก./กก. หรือคิดเป็นปริมาณอินทรีย์วัตถุ 13.80 และ 13.76 ก./กก. ตามลำดับ ส่วนของรากช่วยให้ดินมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมด 6.59 ก./กก. หรือคิดเป็นปริมาณอินทรีย์วัตถุ 11.36 ก./กก. แต่ไม่มีความแตกต่างกับส่วนใบ และส่วนของดอกซึ่งช่วยให้ดินมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมด 7.15 ก./กก. หรือคิดเป็นปริมาณอินทรีย์วัตถุ 12.32 ก./กก. และหากมองในภาพรวมการพิจารณาจากส่วนราก+ลำต้น+ใบ+ดอก เป็นตัวแทนของชั้นส่วนปอเทืองทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าการใช้ปอเทืองสามารถเพิ่มปริมาณคาร์บอนทั้งหมดได้สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการไม่ใช้ปอเทือง 2.57 ก./กก. ที่ระยะเวลา 20 วัน หรือคิดเป็นปริมาณอินทรีย์วัตถุ 4.43 ก./กก. หากดิน 1 ไร่ ที่ระดับความลึก 15 ซม. มีน้ำหนัก 312,000 กก.

การใช้ปอเทืองเป็นปุ๋ยพืชสดหลังการไถกลบ ที่ระยะเวลา 20 วัน ในพื้นที่ 1 ไร่ สามารถปลดปล่อยคาร์บอนทั้งหมด 801.84 กก. ซึ่งในดินที่ใช้ในการทดลองค่าที่ได้เทียบเท่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอน หรือคิดเป็นปริมาณอินทรีย์วัตถุ 1,382.37 กก./ไร่ จากผลวิเคราะห์ดินที่ใช้ในการศึกษาพบว่า มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ 1,996.80 กก./ไร่ หากต้องการยกระดับอินทรีย์วัตถุในดินตามลักษณะของดินในอุดมคติ คือ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในพื้นที่ 1 ไร่ ซึ่งมีน้ำหนัก 312,000 กก. จะต้องมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 5 เปอร์เซ็นต์ หรือ 15,600 กก.

แต่ในดินดังกล่าวมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ 1,996.80 กก. จึงขาดปริมาณอินทรีย์วัตถุอีก 13,603.20 กก. หากต้องการใช้ปอเทืองเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุให้ได้ตามเป้าหมายสามารถทำได้โดยหว่านปอเทืองและไถกลบประมาณ 10 ครั้งติดต่อกัน ภายใต้เงื่อนไขระหว่างดำเนินการต้องไม่มีการสูญเสียปริมาณอินทรีย์วัตถุไปจากดิน

สรุปผลการวิจัย

การใช้แต่ละชั้นส่วนปอเทืองสดบ่มในชุดดินลำปาง อัตรา 5,000 กก./ไร่ ในสภาวะที่ดินมีความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 25°C. ส่วนของดอกมีกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชันสูงที่สุด รองลงมา คือ ส่วนของใบ และส่วนราก+ลำต้น+ใบ+ดอก พบปริมาณสูงสุดที่ระยะเวลา 60 วัน มีกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชัน 167.13, 79.13 และ 66.89 มก./กก. ตามลำดับ ถัดมาคือ ส่วนของรากและลำต้น พบปริมาณสูงสุดที่ระยะเวลา 80 วัน แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกัน โดยมีกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชัน 44.12 และ 42.00 มก./กก. ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในภาพรวมกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชันจากปอเทืองในพื้นที่ 1 ไร่ ที่ระยะเวลา 60 วัน เทียบเท่าการใช้ปุ๋ยยูเรีย 45.37 กก. การใช้ปอเทืองสามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุได้สูงสุด 1,382.37 กก./ไร่ อย่างไรก็ตามปริมาณคาร์บอนและปริมาณอินทรีย์วัตถุมีความผันแปรตามระยะเวลา ผกผันกับกระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกรมพัฒนาที่ดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

เอกสารอ้างอิง

- Abbasi, M.K., M.M. Tahir, N. Sabir and M. Khurshid. 2015. Impact of the addition of different plant residues on nitrogen mineralization-immobilization turnover and carbon content of a soil incubated under laboratory conditions. **Solid Earth** 6: 197-205.
- Abera, G., E. Wolde-meskel and L.R. Bakken. 2012. Carbon and nitrogen mineralization dynamics in different soils of the tropics amended with legume residues and contrasting soil moisture contents. **Biology and Fertility of Soils** 48: 51-66.
- Abiven, S., S. Recous, V. Reyes and R. Oliver. 2005. Mineralisation of C and N from roots, stems and leaves residues in soil and role of their biochemical quality. **Biology and Fertility of Soils** 42: 119-128.
- Aumtong, S. and P. Pongwongkam. 2017. The amount and sequestration of organic carbon fractions in paddy soils. **Journal of Agricultural Research & Extension** 34: 1-13. [in Thai]
- Brady, N.C. 1984. **The Nature and Properties of Soils**. New York: Macmillan Publishing. 750 p.
- Bremner, J.M. and D.R. Keeney. 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soil: exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction distillation methods. **Soil Science Society of America Journal** 30: 577-583.
- Delve, R.J., G. Cadisch, J.C. Tanner, W. Thorpe, P.J. Thorne and K.E. Giller. 2001. Implications of livestock feeding management on soil fertility in the smallholder farming systems of sub-Saharan Africa. **Agriculture Ecosystems & Environment** 84: 227-243.
- Folin, O. and W.A. Denis. 1915. A Colorimetric method for the determination of phenols (and phenol derivatives) in urine. **Journal of Biological Chemistry** 22: 305-308.
- ISO 10694. 1995. **Soil Quality-determination of Organic and Total Carbon after Dry Combustion (Elementary Analysis)**. International Standard. 7 p.
- ISO 13878. 1998. **Soil Quality-determination of Total Nitrogen Content by Dry Combustion (Elemental Analysis)**. International Standard. 5 p.
- Land Development Department. 2010. **Land Development Guide for Soil Volunteers and Farmers**. Bangkok: Land Development Department Press. 236 p. [in Thai]
- _____. 2015. **State of Soil and Land Resources of Thailand**. Bangkok: The Agriculture Co-operative Federation of Thailand., LTD. 303 p. [in Thai]
- Mafongoya, P.L., P.K.R. Nair and B.H. Dzowela. 1998. Mineralization of nitrogen from decomposing leaves of multipurpose trees as affected by their chemical composition. **Biology and Fertility of Soils** 27: 143-148.

- Masunga, R.H., V.N. Uzokwe, P.D. Mlay, I. Odeh, A. Singh, D. Buchan and S.D. Neve. 2016. Nitrogen mineralization dynamics of different valuable organic amendments commonly use in agriculture. **Applied Soil Ecology** 101: 185-193.
- Mohanty, M., K. Sammi Reddy, M.E. Probert, R.C. Dalal, A. Subba Rao and N.W. Menzies. 2011. Modelling N mineralization from green manure and farmyard manure from a laboratory incubation study. **Ecological Modelling** 222: 719-726.
- Odhiambo, J.J.O. 2010. Decomposition and nitrogen release by green manure legume residues in different soil types. **African Journal of Agricultural Research** 5: 90-96.
- Tulaphitak, P., P. Saenjan, K. Dejbhimon and P. Torpol. 2015. Influence of chemical compositions in *Sesbania rostrata* on decomposition processes and mineralization in submerged soils. **Khon Kaen Agricultural Journal** 43: 968-975. [in Thai]
- Vahdat, E., F. Nourbakhsh and M. Basiri. 2011. Lignin content of range plant residues controls N mineralization in soil. **European Journal of Soil Biology** 47: 243-246.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science** 74: 3584-3597.